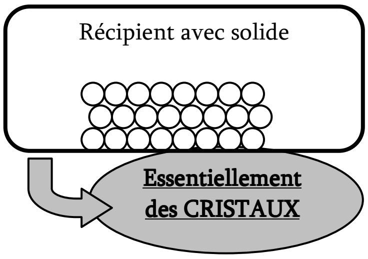
Résumé de cours – CM3 – Cristallographie – 1/4

Objectif : → Décrire l'état solide de la matière

Rappels sur les Etats de la Matière :

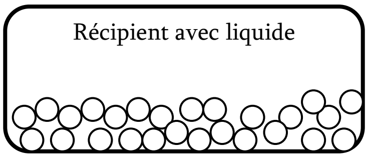
SOLIDE

→ Etat ordonné / Molécules au contact
→ Forte interaction / Plus de mouvement



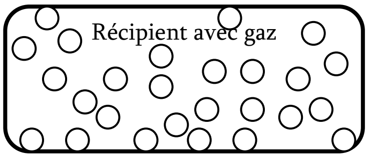
LIQUIDE

→ Etat désordonné / Molécules proches
→ Peuvent bouger les unes % aux autres

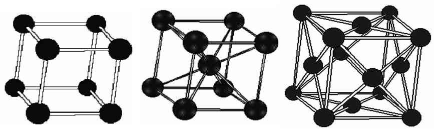


GAZ

→ Désordonné / Particules Très éloignées
→ Très agitées / Libre / Peu d'interaction



Etude des gaz
(Voir Cours Thermodynamique)



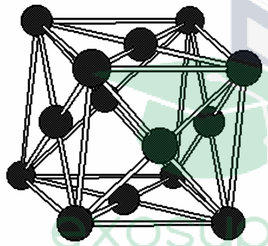
I. Description des Cristaux

Maille : Partie élémentaire du cristal, à partir de laquelle on peut reconstituer tout le cristal
Réseau cristallin : Assemblage infini des mailles → Description géométrique du cristal
Nœuds : Points régulièrement disposés constituant la structure du cristal
Motif du cristal : Entité placée à chaque noeud et qui se répète dans le cristal (= atome / ion / molécule / …)
Population ou multiplicité : Nombre de nœuds appartenant à la maille (noté N pour la suite)

Multiplicité : → Nombre de sphères appartenant à la maille élémentaire (Certaines sont partagées)

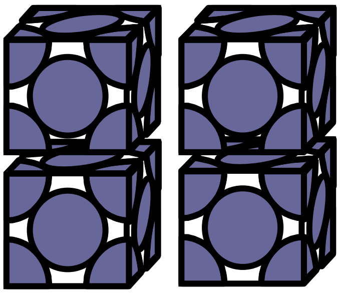
Maille élémentaire :
Cubique Faces Centrées

(En vue éclatée)
14 sphères apparaissent
Ce n'est pas la multiplicité



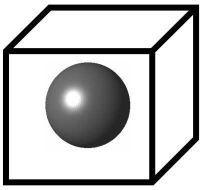
Mais la majorité des sphères sont partagées entre plusieurs mailles :

→ Il ne faut en compter qu'une partie

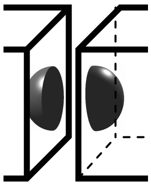


4 Cas Possibles :

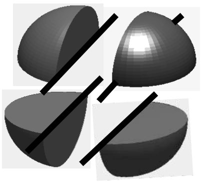
Au Centre
=> Compte pour 1



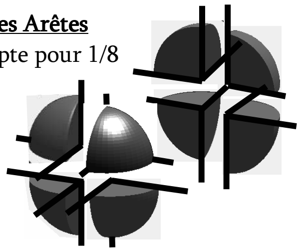
Sur les Faces
=> Compte pour 1/2



Sur les Arêtes
=> Compte pour 1/4



Sur les Arêtes
=> Compte pour 1/8



Compacité et Masse Volumique :

Modèle des sphères dures indéformables
=> Chaque motif du cristal par une sphère dure

Compacité : Rapport du volume réellement occupé par les sphères sur le volume total de la maille

$$C = \frac{V_{occupé\ par\ les\ sphères}}{V_{total\ de\ la\ maille}}$$

Masse Volumique : Rapport masse d'une maille / volume

$$\rho = \left(\frac{m}{V}\right)_{maille} = \frac{N \times m_{motif}}{a^3}$$

Densité : Comparaison avec l'eau

$$d = \frac{\rho}{\rho_{eau}}$$

(en sachant que $\rho_{eau} = 1 kg.L^{-1} = 1000 kg.m^{-3}$)

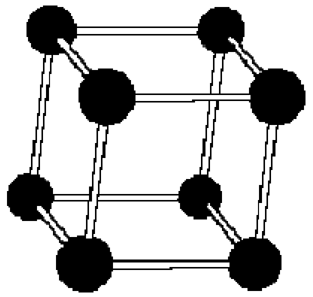
Rmq : La densité est une grandeur sans unité (→ plus facile à manipuler)
Rmq : La densité d'un gaz est comparée avec celle de l'air

Ex :

Elément	Eau	Fer α	Plomb	Titane	Aluminium	Or	Uranium	Iridium
Densité	1	7,85	11,35	5	2,8	19,3	19	22,6

exosup.com page facebook

I Réseaux Cristallins Courants



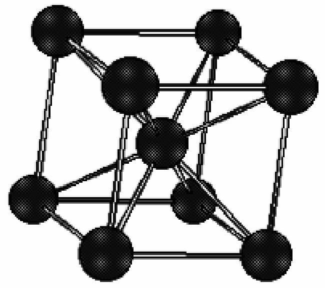
I.1 Cubique Simple (CS)

La maille : 1 nœud à chaque sommet d'un cube

Population : $N = 8 \times \frac{1}{8} = 1$

Contact au niveau de l'arête : $\boxed{a = 2R}$

Compacité : $C = \frac{V_{occupé}}{V_{maille}} = \frac{\frac{4}{3}\pi R^3}{(2R)^3} = \boxed{C = \frac{\pi}{6} = 52\%}$



I.2 Cubique Centré (CC)

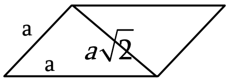
La maille : 1 nœud à chaque sommet d'un cube + 1 nœud au centre

Population : $N = 8 \times \frac{1}{8} + 1 \times 1 = 2$

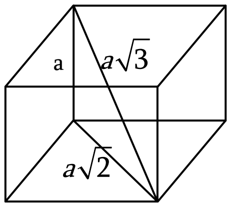
Contact au niveau de la grande diagonale : $\boxed{a\sqrt{3} = 4R}$ $\Rightarrow a = \frac{4}{\sqrt{3}} R$

Rappel mathématique :

Petite diagonale :

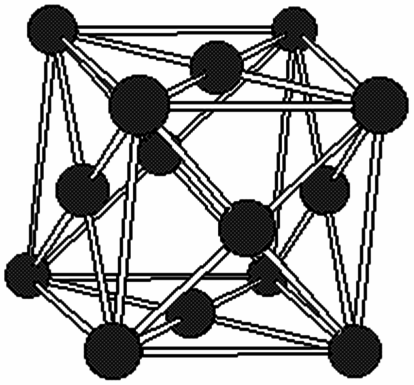


Grande diagonale :



Compacité : $C = \frac{V_{occupé}}{V_{maille}} = \frac{2 \times \frac{4}{3}\pi R^3}{\left(\frac{4}{\sqrt{3}} R\right)^3} = \boxed{C = \frac{\pi\sqrt{3}}{8} = 68\%}$

I.3 Cubique Faces Centrées (CFC)



La maille : 1 nœud à chaque sommet d'un cube
+ 1 nœud au centre de chaque face du cube

Population : $N = 8 \times \frac{1}{8} + 6 \times \frac{1}{2} = 4$

Contact au niveau de la petite diagonale : $\boxed{a\sqrt{2} = 4R}$

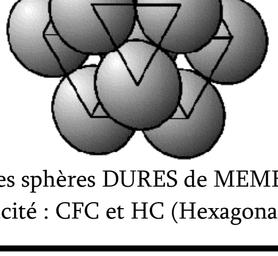
Ainsi : $\Rightarrow a = \frac{4}{\sqrt{2}} R$

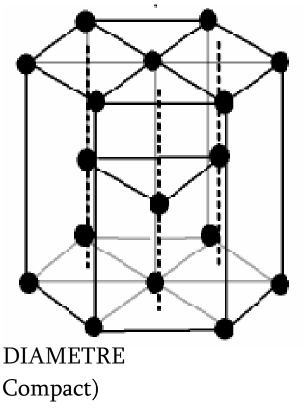
Compacité : $C = \frac{V_{occupé}}{V_{maille}} = \frac{4 \times \frac{4}{3}\pi R^3}{\left(\frac{4}{\sqrt{2}} R\right)^3} = \boxed{C = \frac{\pi\sqrt{2}}{6} = 74\%}$

I.4 Hexagonale Compacte (Hors Programme)

Empilement de structures hexagonales
(= Solution la plus compacte pour répartir des sphères de même diamètre dans un plan)

On montre que : $\boxed{C = \frac{V_{occupé}}{V_{maille}} = 74\%}$





Remarque : 74% est le plus compact réalisable avec des sphères DURES de MEME DIAMETRE
2 structures permettent d'atteindre une telle compacité : CFC et HC (Hexagonal Compact)

II Types de Cristaux

II.1 Variétés allotropiques

Allotropie : Lorsqu'un corps pur peut exister sous plusieurs variétés cristallines

Ex : Pour le Souffre :

S_{α} | 95°C | S_{β} | 119°C | S_{liq} → Température T

Remarque : Les variétés α et β sont dites « variétés allotropiques »

Variétés allotropiques du Fer :

Fe_{α} (CC) | 910°C | Fe_{γ} (CFC) | 1390°C | Fe_{δ} (CC) | 1540°C | Fe_{liq} → T

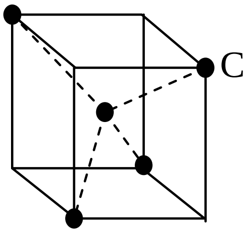
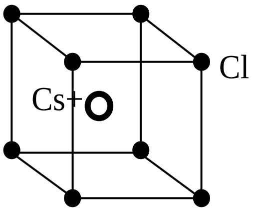
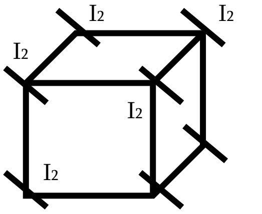
Autres exemples :
→ Carbone : Graphite, Diamant, Nanotubes, … (tous des cristaux covalents)
→ La glace (Eau sous forme solide) possède plus de 10 formes allotropiques selon les conditions de température T et de pression P

II.2 Types de Cristaux

Pcp : Dans les cas de cristaux, des liaisons électriques se font entre les atomes et les molécules
On distingue différents types de cristaux selon la nature de ces liaisons

PLUS ← FORCE DE LA LIAISON — MOINS

Liaison forte | Liaison faible

CRISTAUX COVALENTS	CRISTAUX IONIQUES	CRISTAUX METALLIQUES	CRISTAUX MOLECULAIRE
→ Empilement d'atome (sphères)	→ Empilement d'ions (charges + et -)	→ Empilement d'atome (sphères)	→ Empilement de molécules
→ Motif = Atome	→ Motif : Les ions	→ Motif = Atome métallique	→ Motif : la molécule
→ Liaison de covalence Ex : C, Si	→ Attraction charges Ex : NaCl, ZnS, CaF_2	→ Liaison métallique Ex : Na, Fe	→ Interaction électrique Ex : I_2, H_20, …
Exemple : Diamant	Exemple : Chlorure de Césium CsCl	(Pas de liaison directe, seulement une mise en commun des e^-)	Exemple : Diiode I_2
			

↑ Solide le plus dur : DIAMANT (Carbone tétraédrique)

← DIFFICULTE A BRISER LE CRISTAL

T° de fusion (C)=3675°C (ZnS)=1830°C (Fe)=1540°C (H_20)=0°C

MAIS ATTENTION – Beaucoup d'exception (à titre indicatif)

exosup.com page facebook

Résumé de cours – CM3 – Cristallographie – 4/4

II.3 Exemples de cristaux

Exemples de Cristaux Métalliques :

CC : → Fer α / Chrome / Tungstène / …
CFC : → Fer γ / Or / Ag / Alu / Cuivre / …
HC : → Zinc / Titane / Cadmium / …
Cubique simple : Seulement le Polonium

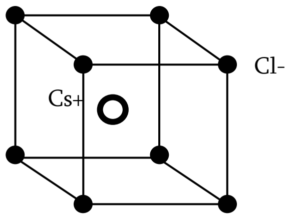
Rmq : Toutes les sphères font le même diamètre, donc le cubique simple n'est pas très stable, et peu rencontré…

Exemples de Cristaux Ioniques :

CsCl : Chlorure de Césium

Un ion Chlorure Cl^- se trouve sur chaque coin du cube ($N_1 = 1$)
Un ion Césium Cs^+ se trouve au centre du cube ($N_2 = 1$)

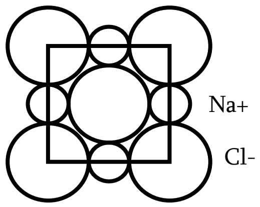
Cela donne uns structure Cubique Centrée, justifiée par les rayons des ions : $r(Cl^-) = 181pm$, $r(Cs^+) = 94pm$

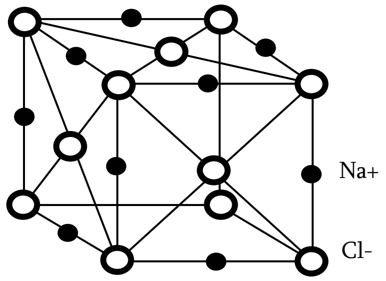


NaCl : Chlorure de Sodium

Les ions Chlorure Cl^- s'organisent en CFC ($N_1 = 4$)
Les ions Sodium Na^+ occupent le milieu de chaque arête ainsi que le centre du cube ($N_2 = 4$)

Cela donne uns structure Cubique Simple, justifiée par les rayons des ions : $r(Cl^-) = 181pm$, $r(Na^+) = 97pm$

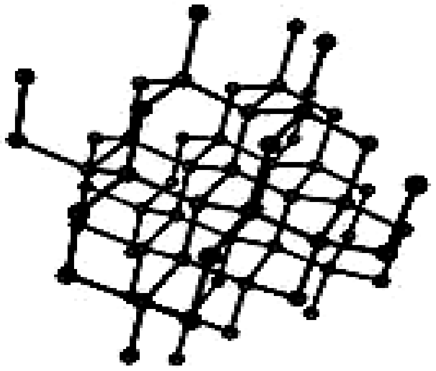




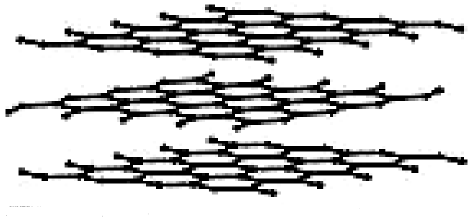
Exemple de Cristal Covalent :

Carbone :

Sous forme de diamant :
Chaque atome de carbone est lié à ses 4 voisins les plus proches, et a donc une structure tétraédrique
→ Structure très robuste



Sous forme de graphite :
Les atomes de carbone s'organisent en feuillets hexagonaux régulièrement espacés et décalés
→ Matériau mou
(Mine de crayon / Lubrifiant / …)



Exemple de Cristal Moléculaire :

Glace : Les molécules d'eau H_2O s'agglomèrent suivant plusieurs structures, il y a plus d'une dizaine de variétés allotropiques.

Un exemple est illustré ci-contre. Il ne faut pas oublier que l'on place une molécule H_2O à chaque nœud du réseau cristallin.